

RL 104222 (3)

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
11 DE 3820217 A1

51 Int. Cl. 4:  
C03C 13/04  
G 02 B 6/18

21 Aktenzeichen: P 38 20 217.4  
22 Anmeldetag: 14. 6. 88  
43 Offenlegungstag: 21. 12. 89

DE 3820217 A1

71 Anmelder:  
AEG Kabel AG, 4050 Mönchengladbach, DE

72 Erfinder:  
Sommer, Ronald G., Dr., 5144 Wegberg, DE;  
Glessner, Bertram, 4000 Düsseldorf, DE; Pitsch, Paul,  
4050 Mönchengladbach, DE; Hoffart, Michael, 5628  
Heiligenhaus, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE	29 39 339 C2
DE-PS	26 32 689
DE-PS	24 56 894
DE	26 15 534 B2
DE-OS	23 13 109
EP	2 22 501 A1
EP	1 96 389 A1
EP	1 54 026 A2

54 Lichtwellenleiter, insbesondere Einmodenfaser

Bei einem Lichtwellenleiter, insbesondere Einmodenfaser, mit einem Kern und einem inneren und äußeren Mantel, wobei der innere Mantel einen ersten Dotierstoff zur Erniedrigung der Sintertemperatur, sowie einen zweiten, zur Kompensation von unerwünschten Nebenwirkungen des ersten Dotierstoffs hinsichtlich der Brechzahl enthält, und der Kern einen Dotierstoff enthält, welcher zur Erhöhung der Brechzahl gegenüber der angrenzenden inneren Mantelschicht dient, wobei die Erweichungstemperatur  $T_K$  des Kerns niedriger ist als diejenige im äußeren Mantel ( $T_M$ ), ist vorgesehen, daß die Dotierstoffe und ihre Konzentrationen so gewählt sind, daß die Erweichungstemperaturen  $T_i$  der Schichten des inneren Mantels von einem Wert  $T_a$  von einem Minimalwert in der Nähe des Kerns bis zu einem Maximalwert in der Nähe des äußeren Mantels ansteigt, und daß der Temperaturmittelwert des linearen Ausdehnungskoeffizienten  $X_i$  von einem Maximalwert in der Nähe des Kerns bis zu einem Minimalwert in der Nähe des äußeren Mantels möglichst gleichmäßig abnimmt.

DE 3820217 A1

Die Erfindung betrifft einen Lichtwellenleiter nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei der Dampfphasen-Abscheidung von Verbindungen wie  $\text{SiO}_2$  wird beispielsweise die innere Oberfläche eines Rohrs beschichtet. Das Rohr bildet dabei den äußeren Mantel bzw. den (inneren) Teil des äußeren Mantels. Auf diesen äußeren Mantel wird zunächst der innere Mantel in etwa 100 Schichtfolgen abgeschieden. Darauf wird der Kern mit einem höheren Brechungsindex als der innere Mantel abgeschieden. Als Dotierstoff, welcher das Silizium teilweise ersetzt und einen höheren Brechungsindex hervorruft, wird beispielsweise Germanium benutzt. Das Substratrohr besteht im allgemeinen aus Quarz, welches aber eine für die Lichtfortpflanzung ausreichende Reinheit nicht besitzt. Deshalb wird ein innerer Mantel aus reinem Quarzglas abgeschieden. Diesem Verfahren stehen aber große Schwierigkeiten gegenüber, da reines Quarzglas schwer schmelzbar ist und die Verfahrenstemperatur so hoch gewählt werden muß, daß das Substratrohr in der Regel deformiert wird. Deshalb wird etwas Phosphor als Dotierstoff zugegeben, um die Sinter- bzw. Erweichungstemperatur zu senken. Leider führt  $\text{P}_2\text{O}_5$  zu einer unerwünschten Erhöhung der Brechzahl.

Es wurde deshalb in Electronics Letters 1979, 15, pp. 411 — 413 vorgeschlagen, eine geringe Konzentration eines die Brechzahl erniedrigenden Dotierungsmittels zuzusetzen. Damit konnte der Effekt der  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Dotierung kompensiert werden. Als zusätzliches Dotiermittel wurde Fluor vorgeschlagen und mit Erfolg eingesetzt.

Eine nach diesem Stand der Technik hergestellte optische Faser, bei der der Kern nur zur Leitung der Grundschwingung befähigt ist (Monomodefaser), zeigt im allgemeinen einen Dämpfungsanstieg bei wachsender Ziehgeschwindigkeit. Das Anwachsen der Dämpfung mit der Ziehgeschwindigkeit ist darauf zurückzuführen, daß beim schnelleren Abkühlen auch größere thermische Spannungen in der Faser erzeugt werden.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine optische Faser anzugeben, bei der die Dämpfung weitgehend unabhängig von der Ziehgeschwindigkeit (10 Meter bis 600 Meter pro Minute) ist. Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 aufgeführten Merkmale gelöst. Vorteilhaft Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen 2 bis 6 gekennzeichnet.

Die Erfindung eignet sich vorzugsweise zur Herstellung von innenbeschichteten Lichtwellenleitern nach der sogenannten MCVD-Methode. Die Vorteile gegenüber dem Stand der Technik 0,35 dB/km ist die niedrigere Grunddämpfung bei einer Wellenlänge von  $\lambda=1310$  nm und die Unabhängigkeit der Dämpfung von der Ziehgeschwindigkeit. Diese Vorteile werden durch den speziellen Zuschnitt der Konzentrationsprofile aller Dotierungsmittel erreicht. Durch die kontinuierliche bzw. quasikontinuierliche Änderung des Konzentrationsprofils mit dem Radius werden insbesondere abrupte Sprünge im Ausdehnungskoeffizienten für einen großen Teil des Faserquerschnitts vermieden. Hierdurch soll erreicht werden, daß der Kern und die inneren Mantelschichten niedrigere Erweichungstemperaturen und höhere Ausdehnungskoeffizienten besitzen als die äußeren Schichten des inneren Mantels und der äußere Mantel.

Der Ausdehnungskoeffizient von Glas ist stark temperaturabhängig. Die hier betrachteten X sind Mittel-

werte des Ausdehnungskoeffizienten im Temperaturintervall der Abkühlung von der Erweichungs- bzw. Verfestigungstemperatur des Glases bis hinunter auf Raumtemperatur ( $20^\circ\text{C}$ ).

Durch die Erniedrigung der Dotierung des inneren Mantelbereichs in der Nähe des Kerns durch einen ersten Dotierstoff D 1, beispielsweise Phosphor, wird zusätzlich eine Dämpfungserniedrigung bei einer Wellenlänge von  $\lambda=1550$  nm erreicht. Bei Erniedrigung der Dotierung in Kernnähe des inneren Mantelbereichs durch ein zweites Dotiermittel D 2, insbesondere Fluor, wird — wegen der hierdurch bedingten geringen Fluor-Diffusion in den eigentlichen Kern — eine weitere Dämpfungserniedrigung erwartet.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels erläutert.

Der Kern besteht aus germaniumdotiertem Siliziumdioxid mit einer über den Radius konstanten Brechzahlhöhung von  $\Delta n^+ = 4,2 \cdot 10^{-3}$ . In der inneren Mantelschicht nimmt der Germaniumanteil zunächst um einen konstanten Betrag sprunghaft ab. In jeder der daran anschließenden äußeren Schichten nimmt der Germaniumanteil quasikontinuierlich ab (d.h. auch kleine Sprünge im Dotierungsverlauf sind inbegriffen), bis er an der Grenzfläche zum äußeren Mantel den Wert Null erreicht. Im inneren Mantel nimmt gleichzeitig die Phosphor-Konzentration vom Wert Null bis auf einen Maximalwert an der Grenzfläche zum äußeren Mantel kontinuierlich zu. Diese Zunahme der Phosphor-Konzentration geschieht dergestalt, daß dabei der Brechungsindex im inneren Mantel konstant bleibt. Außerdem ist im inneren Mantel die Fluorkonzentration konstant gehalten. Die Dotierstoffprofile sind so gewählt, daß sich eine über den inneren Mantel konstante Brechzahlerniedrigung von  $\delta n^- = 1,0 \cdot 10^{-3}$  ergibt. Der äußere Mantel besteht aus handelsüblichem Quarz.

Nach der Innenbeschichtung wird wie üblich kollabiert und der Stab zur Faser ausgezogen. Die nach diesem Ausführungsbeispiel hergestellten Fasern zeigen — im Vergleich zu dem bisherigen Stand der Technik — eine um 0,02 dB/km erniedrigte Dämpfung bei einer Wellenlänge von  $\lambda=1310$  nm und eine wesentlich erniedrigte ziehgeschwindigkeitsabhängige Dämpfung in dem betrachteten Geschwindigkeitsbereich. Zusätzlich wird — auf Grund der niedrigen Phosphordotierung des inneren Mantels im Bereich des Kerns — erwartungsgemäß eine niedrigere Dämpfung bei der Wellenlänge von  $\lambda=1550$  nm beobachtet.

Weitere Beispiele für die Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt; dabei zeigt Fig. 1 im oberen Teil den Verlauf der Erweichungstemperatur über dem Radius und im unteren Teil den Verlauf der Ausdehnungskoeffizienten. Fig. 2 zeigt den Verlauf der Dotiermittelkonzentrationen und Fig. 3 den Verlauf der Brechzahl über dem Radius aufgetragen.

In Fig. 1 sind für die Erweichungstemperaturen und Ausdehnungskoeffizienten funktionale Abhängigkeiten dargestellt, welche sich in einem breiten Band bewegen, soweit es den inneren Mantel betrifft. Es ist zu erkennen, daß sich sowohl die Erweichungstemperaturen als auch die Ausdehnungskoeffizienten von Werten  $T_a$  bzw.  $X_a$  Endwerten ( $T_b$ ,  $X_b$ ) nähern, welche in der Nähe der entsprechenden Werte für das Mantelmaterial liegen. Die Funktionen, nach denen sich die Erweichungstemperatur im inneren Mantel von  $r_K$  bis  $r_M$  ändert, liegen in dem schraffierten Streifen, der durch die Werte  $T''_a$ ,  $T'_a$  und die Werte  $T''_b$ ,  $T'_b$  begrenzt ist. Dasselbe gilt für die Ausdehnungskoeffizienten  $X_i$ . Die Funktionen kön-

nen monoton zunehmend, bzw. für  $X$  monoton abnehmend, sein. Sie können aber auch Minima und Maxima in der Nähe der Grenzflächen annehmen.

Die Werte für  $T_I$  mit  $T'_a \leq T_I \leq T''_b$  können ebenso wie die Werte für  $X_I$  mit  $X'_b \leq X_I \leq X''_a$  in den schraffierten Streifen vorzugsweise nur um die Beträge 1,5 ( $T_M - T_K$ ) bzw. 1,5 ( $X_K - X_M$ ) variieren. Wegen der nicht genau bekannten Temperaturabhängigkeit der Ausdehnungskoeffizienten bei hohen Temperaturen können die Mittelwerte  $X_I$  auch um Beträge von 3 ( $X_K - X_M$ ) schwanken. Auch die Erweichungstemperaturen können einen höheren Schwankungsbereich — beispielsweise um 3 ( $T_M - T_K$ ) — aufweisen, ohne am hier verwirklichten Prinzip etwas zu ändern.

In Fig. 2 ist das Konzentrationsprofil der Dotierstoffe dargestellt. Der Dotierstoff des Kerns macht an der Grenzfläche zum inneren Mantel zunächst einen Sprung, um dann stetig bis zur Grenzfläche des inneren Mantels zum äußeren Mantel abzunehmen. Dementsprechend wächst die Konzentration des Dotierstoffes  $D1$  von  $r_K$  bis  $r_M$  auf einen Maximalwert an. Die Konzentration des Dotierstoffes  $D2$  ist im inneren Mantel konstant. Der gewünschte Verlauf der Brechzahl ist in Fig. 3 dargestellt. Die Brechzahl ist im Kern deutlich größer als im inneren Mantel (cladding) und auch etwas größer als im äußeren Mantel.

$D1$  kann im Prinzip jeder die Brechzahl erhöhende Dotierstoff sein, dessen Einbringung nicht zu nennenswerter Erhöhung der Dämpfung im nutzbaren Spektralbereich führt. Diese Bedingung gilt auch für den die Brechzahl erniedrigenden Dotierstoff  $D2$ .

#### Patentansprüche

1. Lichtwellenleiter, insbesondere Einmodenfaser, mit einem Kern und einem inneren und äußeren Mantel, wobei der innere Mantel einen ersten Dotierstoff zur Erniedrigung der Sintertemperatur, sowie einen zweiten, zur Kompensation von unerwünschten Nebenwirkungen des ersten Dotierstoffs hinsichtlich der Brechzahl enthält, und der Kern einen Dotierstoff enthält, welcher zur Erhöhung der Brechzahl gegenüber der angrenzenden inneren Mantelschicht dient, wobei die Erweichungstemperatur  $T_K$  des Kerns niedriger ist als diejenige im äußeren Mantel ( $T_M$ ), dadurch gekennzeichnet, daß die Dotierstoffe und ihre Konzentrationen so gewählt sind, daß die Erweichungstemperaturen  $T_I$  der Schichten des inneren Mantels von einem Wert  $T_a$  von einem Minimalwert in der Nähe des Kerns bis zu einem Maximalwert in der Nähe des äußeren Mantels ansteigt, und daß der Temperaturmittelwert des linearen Ausdehnungskoeffizienten  $X_I$  von einem Maximalwert in der Nähe des Kerns bis zu einem Minimalwert in der Nähe des äußeren Mantels möglichst gleichmäßig abnimmt.
2. Lichtwellenleiter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Konzentration des Dotierstoffs im Kern eine konstante Verteilung über den Radius aufweist, welche in der ersten Mantelschicht auf einen vernachlässigbar kleinen Wert abfällt, während die Konzentration des ersten Dotierstoffs im inneren Mantel von einem Minimalwert bis zu einem Maximalwert in der Nähe der Grenzfläche zum äußeren Mantel monoton ansteigt, und daß die Konzentration des zweiten Dotierstoffs im inneren Mantel annähernd konstant bleibt und am äußeren

Mantel gegen Null geht.

3. Lichtwellenleiter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Dotierstoffprofile der drei Dotierstoffe so gewählt sind, daß ein konstanter Brechzahlverlauf im inneren Mantel erzielt ist.

4. Lichtwellenleiter nach Anspruch 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Dotierstoff einen Maximalwert der Konzentration in der Nähe des äußeren Mantels aufweist und zum Kern hin auf einen Minimalwert abnimmt.

5. Lichtwellenleiter nach Anspruch 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Dotierstoff des Kerns im inneren Mantel ein konstantes Dotierprofil aufweist.

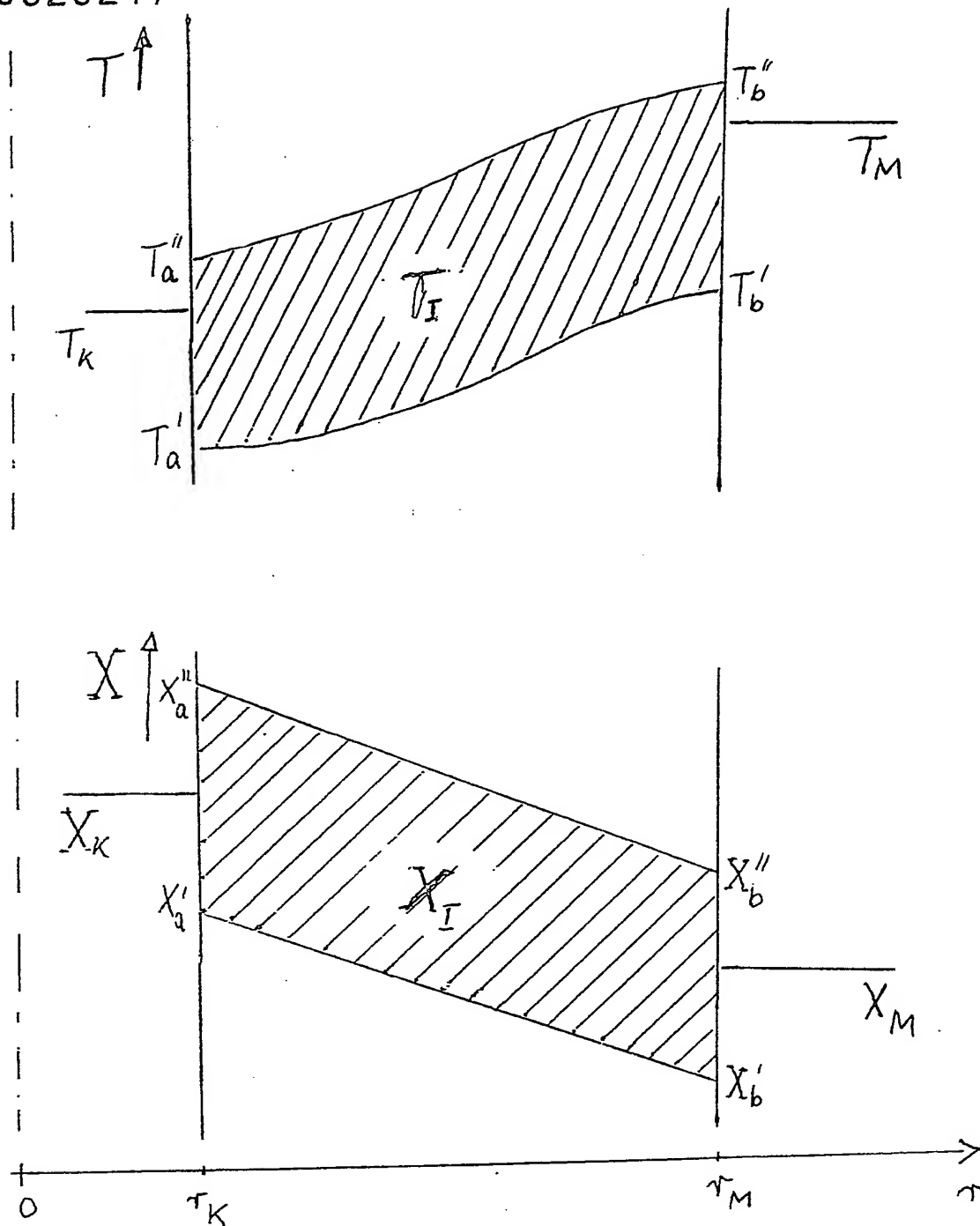
6. Lichtwellenleiter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Kern mit Germanium dotiert ist, daß der erste Dotierstoff Phosphor ist, und daß der zweite Dotierstoff Fluor ist.

7. Lichtwellenleiter nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwankungsbreite der Werte  $T_I$  und  $X_I$  im Bereich des inneren Mantels kleiner ist als die eineinhalbfache Differenz der entsprechenden Werte für die angrenzenden Bereiche des Kerns und des äußeren Mantels.

8. Lichtwellenleiter nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwankungsbreite der Werte  $T_I$  und  $X_I$  im Bereich des inneren Mantels kleiner ist als die dreifache Differenz der entsprechenden Werte für die angrenzenden Bereiche des Kerns und des äußeren Mantels.

- Leerseite -

3820217



Figur 1

14.08.88

9\*

3820217

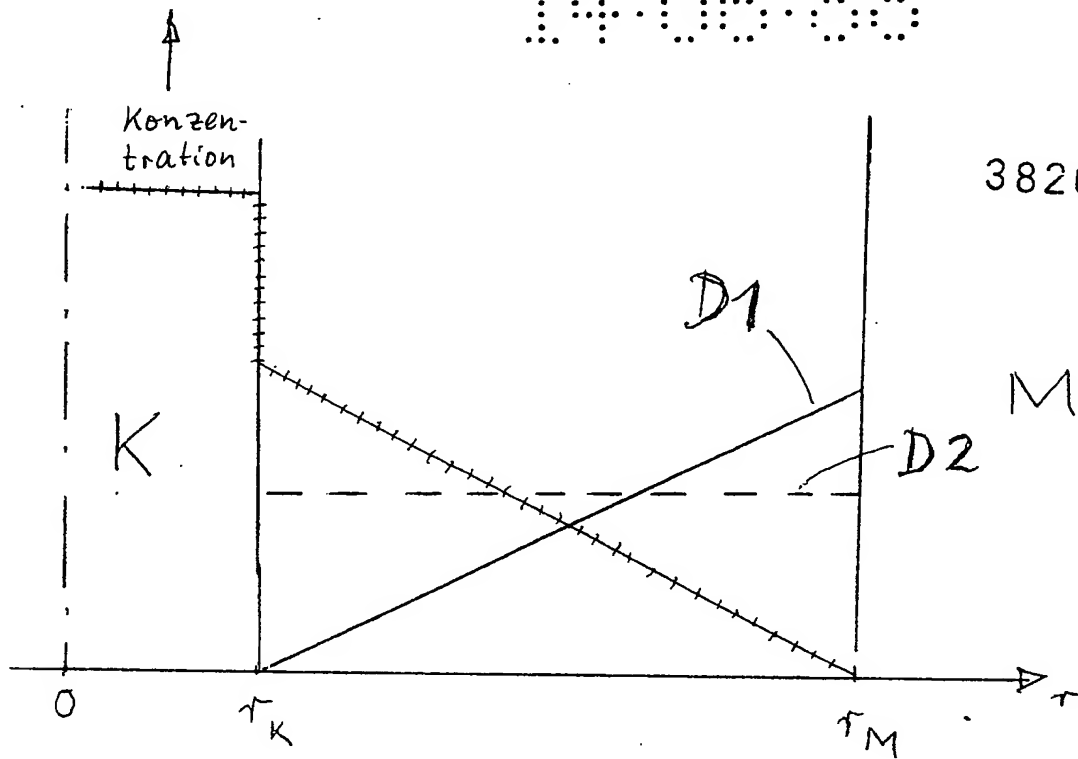


Fig. 2

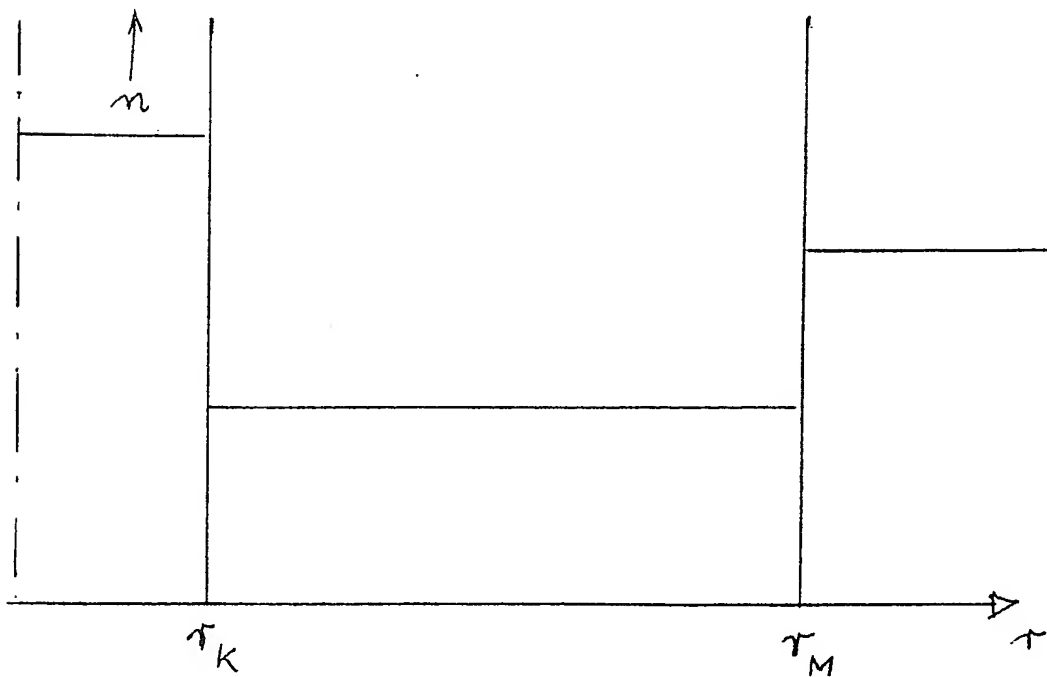


Fig. 3